

**(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)**

**(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle**  
Bureau international



**(43) Date de la publication internationale**  
1 septembre 2005 (01.09.2005)

**PCT**

**(10) Numéro de publication internationale**  
**WO 2005/080924 A1**

**(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : G01F 1/36, 1/88**

**(21) Numéro de la demande internationale :**  
PCT/FR2005/000352

**(22) Date de dépôt international :**  
16 février 2005 (16.02.2005)

**(25) Langue de dépôt :** français

**(26) Langue de publication :** français

**(30) Données relatives à la priorité :**  
04/01527 16 février 2004 (16.02.2004) FR

**(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :**  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) [FR/FR]; 3, rue Michel-Ange, F-75026 Paris (FR). UNIVERSITE DE POITIERS [FR/FR]; 15, rue de l'Hôtel Dieu, F-86000 Poitiers (FR).

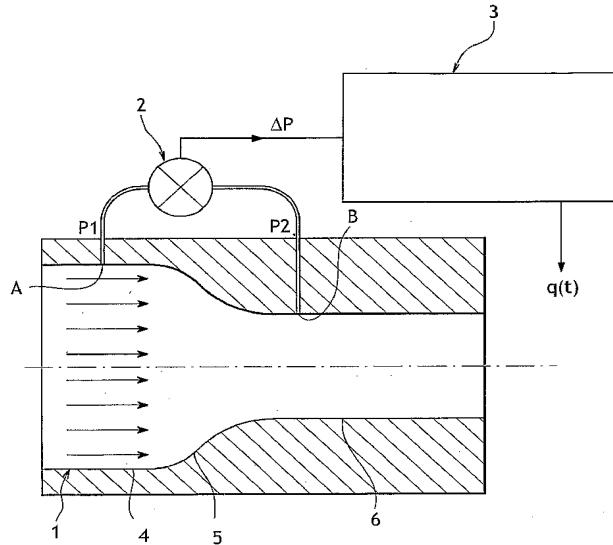
**(72) Inventeurs; et**

**(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :** FOUCALUT, Eric [FR/FR]; 55, rue Cornet, F-86000 Poitiers (FR). SZEGER, Philippe [FR/FR]; 1, rue de la Roche, F-86800 Saint Julien L'Ars (FR). LAUMONIER, Jannick [FR/FR]; 5, rue Lamartine, F-86000 Poitiers (FR). MICHEAU, Philippe [FR/CA]; 3648 Iris, Rock Forest, Quebec J1N 2W5 (CA).

*[Suite sur la page suivante]*

**(54) Title: UNSTEADY FLOW METER**

**(54) Titre : DEBITMETRE INSTATIONNAIRE**



**(57) Abstract:** The invention makes it possible to measure, in real time, the flow of a fluid that is incompressible while having an unsteady flow. The pressure measuring system is primarily comprised of a negative-pressure element (1) placed within the flow and provided with two wall pressure taps (A, B). A means (2) for measuring a pressure difference connected to the pressure taps (A, B) enables the following formula to be solved:  $dq(t)/dt + \alpha(q(t)) = \beta \times \Delta p(t)$  directly stemming from fundamental equations of fluid mechanics and/or:  $\Delta p(t)$  represents the pressure difference measured by the sensor;  $q(t)$  represents the sought volume flow rate, and;  $\alpha$  represents a function of the geometry of the negative-pressure element, of the fluid and of the flow  $q(t)$ , the particularity of this formula being the consideration of the direction of flow in the second term of the left member of the formula.

**(57) Abrégé :** L'invention permet de mesurer en temps réel le débit d'un fluide incompressible en écoulement instationnaire. Le système de mesure de pression se compose principalement d'un organe déprimogène (1) placé dans l'écoulement et muni de deux prises de pression en paroi (A, B). Un moyen (2) de mesure d'une différence de pression

*[Suite sur la page suivante]*

**WO 2005/080924 A1**



(74) **Mandataires :** MARTIN, Jean-Jacques , etc.; Cabinet Regimbeau, 20, rue de Chazelles, F-75847 Paris Cedex 17 (FR).

(81) **États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) :** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) :** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Déclaration en vertu de la règle 4.17 :**

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

## **DEBITMETRE INSTATIONNAIRE**

La présente invention concerne le domaine de la mesure du débit instantané d'un fluide en écoulement instationnaire.

Elle trouve notamment – mais non limitativement – avantageusement application dans les domaines du génie des procédés et de l'industrie automobile.

Plus particulièrement, elle trouve avantageusement application dans le contrôle et la régulation des moteurs thermiques, les centres d'essais et laboratoires de recherche, ainsi que toutes les applications actuelles des débitmètres de l'art antérieur.

Plus particulièrement, elle trouve avantageusement application dans toutes les situations où l'écoulement étant instationnaire, la connaissance du débit impose une intégration dans le temps et dans l'espace de la vitesse.

## **PRESENTATION GENERALE DE L'ART ANTERIEUR**

Les mesures de débits sont des éléments essentiels à l'optimisation des processus industriels.

A l'heure actuelle, pour connaître le débit d'un fluide en écoulement instationnaire à un instant donné, il est généralement nécessaire de mettre en œuvre des techniques de mesure permettant de déterminer la vitesse de ce fluide. Une fois que l'on a déterminé un ensemble de vitesses pour différents instants, on intègre spatialement cet ensemble de vitesses afin d'avoir accès à l'évolution du débit en fonction du temps.

Il a déjà été proposé de nombreux systèmes et méthodes permettant l'obtention du débit d'un fluide en écoulement instationnaire par la détermination de la vitesse de ce fluide.

A titre d'exemple, on peut citer les méthodes LDV et PIV ainsi que les systèmes qui leurs sont associés.

La méthode PIV dite de Vélocimétrie par Images de Particules est basée sur la mesure du déplacement de petites particules. La détermination de la vitesse du fluide à un instant donné est réalisée de la façon suivante. Le fluide en écoulement est ensemencé en particules, et est illuminé par un laser. Le laser émet deux impulsions décalées d'un court intervalle de temps. Une caméra CCD synchronisée au laser enregistre une image pour chaque impulsion du laser. Les deux images obtenues sont ensuite traitées. Le déplacement des particules entre la première et la deuxième image est mesuré en utilisant une technique de corrélation. En divisant le déplacement des particules entre les deux images par la durée séparant l'enregistrement de chacune de ces images, on obtient la vitesse du fluide en écoulement. Cette détermination de la vitesse du fluide permet de déduire le débit de ce fluide.

La méthode LDV dite de Vélocimétrie Doppler Laser est basée sur la mesure d'une fréquence Doppler. Le fluide en écoulement est ensemencé en particules et est illuminé à l'aide de deux lasers dont les faisceaux se croisent. La lumière dispersée provenant des particules passant l'intersection des deux faisceaux lasers produit une fréquence de Doppler proportionnelle à la vitesse de la particule. Le calcul de cette vitesse permet d'obtenir le débit du fluide en écoulement. La visualisation du flux est réalisée de la même manière que dans le cas PIV.

Ces méthodes et systèmes présentent les inconvénients suivants :

- les méthodes PIV et LDV ne permettent pas de déterminer le débit d'un fluide en temps réel. En effet, ces techniques imposent un post-traitement des images acquises afin d'obtenir la vitesse du fluide.
- la mise en œuvre de telles techniques est lourde et coûteuse.
- ces méthodes sont mal résolues en temps et possèdent donc une faible bande passante (généralement moins de 10 Hz pour la méthode PIV).
- le fluide doit être ensemencé en particules.
- le fluide et la conduite doivent être transparents.

Une autre méthode permettant d'obtenir le débit d'un fluide en écoulement instationnaire à partir de sa vitesse utilise le tube de Pitot.

Le tube de Pitot est un instrument servant à déterminer la vitesse d'un fluide en écoulement grâce à la mesure d'une différence de pression. Pour déterminer la vitesse d'un fluide en écoulement dans une conduite, on doit connaître la direction et le sens de l'écoulement. On plonge le tube de Pitot dans la conduite de sorte que le tube soit parallèle à la direction de l'écoulement et que l'avant du tube de Pitot fasse front à l'écoulement. Une première pression est obtenue par une première prise de pression située sur la paroi latérale du tube de Pitot. Cette première pression mesurée est une pression statique. Une deuxième pression est obtenue par une prise de pression située à l'avant du tube. Cette pression est la pression totale du fluide. La mesure de l'écart entre ces deux pressions permet de calculer la vitesse du fluide en écoulement. A partir du calcul de cette vitesse, on peut obtenir le débit du fluide en écoulement.

Cette méthode et ce système présentent les inconvénients suivants :

- la direction et le sens de l'écoulement doivent être connus et constants pour mettre en place le tube de Pitot.
- lorsque le sens de l'écoulement varie, la mesure de pression totale est faussée, ce qui induit une erreur dans l'obtention de la mesure de la vitesse.
- ce type de système est intrusif et perturbe donc l'écoulement.

Une dernière méthode permettant l'obtention du débit d'un fluide en écoulement instationnaire à partir de sa vitesse est la méthode dite du fil chaud.

La méthode du fil chaud repose sur le transfert de chaleur autour d'un fil chauffé par un circuit électrique. On place dans le fluide en écoulement un fil porté par effet Joule à une température supérieure à la température de ce fluide. Il se produit un échange de chaleur par convection : le fil est refroidi par le fluide en écoulement. Il est alors possible de déterminer la vitesse du fluide en écoulement en calculant la puissance

qu'il faut fournir au fil pour le maintenir à une température constante. Une fois la vitesse du fluide connue, il est possible d'en déduire le débit du fluide en écoulement instationnaire.

Cette méthode et ce système présentent les inconvénients suivants :

- la méthode est ponctuelle et insensible au sens de l'écoulement du fluide.
- les mesures dans les liquides, qui sont la plupart du temps conducteurs, nécessitent que le fil chaud (chauffé par le circuit électrique) soit isolé électriquement.
- il faut étalonner le système.
- le fil vieillit assez rapidement ce qui impose une maintenance coûteuse.
- la mise en œuvre, et notamment les dimensions du fil, induit une grande fragilité du système.
- c'est une méthode intrusive et donc susceptible de perturber l'écoulement.

Un but de la présente invention est de fournir une méthode et un système de mesure en temps réel du débit d'un fluide en écoulement instationnaire, permettant de pallier la plupart des inconvénients précités.

### **PRESENTATION DE L'INVENTION**

L'invention concerne un système de mesure en temps réel du débit instantané d'un fluide en écoulement stationnaire ou instationnaire dans une conduite, caractérisé en ce qu'il comporte :

- un organe déprimogène placé dans la conduite, ledit organe déprimogène étant muni de deux prises de pression en paroi,
- un moyen de mesure d'une différence de pression apte à être raccordé aux deux prises de pression;
- un moyen de calcul adapté pour calculer le débit en temps réel par la résolution d'une formule reliant le débit instantané à la différence de pression, cette dernière dans ladite formule étant positive ou négative en fonction de la variation de la vitesse

d'écoulement du fluide dans la conduite et/ou du sens de l'écoulement du fluide.

Comme cela sera précisé par la suite, le système de mesure de débit conforme à la présente invention permet un contrôle industriel de débits même fortement pulsés en alliant prix réduit, simplicité de mise en œuvre et fiabilité. Cette mesure de débit est réalisée en temps réel et rend compte du sens de l'écoulement. De plus le système de mesure de débit conforme à la présente invention est non intrusif et ne nécessite pas d'étalonnage.

Des aspects préférés, mais non limitatifs du système de mesure de débit selon l'invention sont les suivants :

- la formule comprend un terme représentatif de la différence de pression, un terme représentatif du débit instantané, et un terme représentatif de la dérivée par rapport au temps du débit instantané, chacun de ces trois termes pouvant être positif ou négatif.
- la formule prenant en compte le sens de l'écoulement est une équation différentielle de la forme :

$$dq(t)/dt + \alpha(q(t)) = \beta \times \Delta p(t),$$

avec  $q(t)$  le débit instantané recherché,  $dq(t)/dt$  la dérivée par rapport au temps du débit instantané recherché,  $\alpha(q(t))$  une fonction dépendant de la géométrie du système, du fluide et du débit  $q(t)$ ,  $\beta$  un coefficient fonction de la géométrie du dispositif, et  $\Delta p(t)$  la différence de pression instantanée mesurée.

- le système comporte en outre une sonde de mesure de température.
- le moyen de calcul est apte à obtenir la masse volumique du fluide à l'aide de la mesure de température mesurée par la sonde de mesure de température et à calculer le débit instantané massique du fluide.
- le système comporte en outre une sonde de mesure de la pression statique absolue.

- le moyen de calcul est apte à calculer en temps réel le débit instantané massique d'un fluide compressible en temps réel grâce à la prise en compte de la mesure de pression statique absolue et de la mesure de température et par la résolution de la formule reliant le débit instantané à la différence de pression, ladite formule prenant en compte le sens de l'écoulement du fluide.
- l'organe déprimogène est un convergent.
- l'organe déprimogène est un diaphragme.
- l'organe déprimogène est un venturi.
- le moyen de mesure d'une différence de pression est un capteur de pression différentielle raccordé aux deux prises de pression.
- le moyen de mesure d'une différence de pression est un ensemble de deux capteurs de pression relative raccordé aux deux prises de pression.
- le moyen de calcul est un calculateur électronique.
- le calculateur électronique permettant de calculer le débit instantané en temps réel quelques soient les fluctuations de l'écoulement est un calculateur électronique analogique ou numérique.
- le moyen de calcul comprend un premier amplificateur connecté à une première entrée d'un soustracteur, un intégrateur connecté à une sortie du soustracteur, une boucle de contre réaction connectée entre une sortie de l'intégrateur et une deuxième entrée du soustracteur, la boucle de contre réaction comportant un module réalisant la fonction valeur absolue connecté à la sortie de l'intégrateur, un multiplicateur connecté par une première entrée à une sortie du module et par une deuxième entrée à la sortie de l'intégrateur.

La présente invention concerne également un procédé de mesure du débit d'un fluide en écoulement stationnaire ou instationnaire dans une conduite, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- mesurer, quelques soient les fluctuations de l'écoulement, une différence entre deux pressions.
- calculer le débit du fluide par résolution d'une formule reliant le débit et la différence de pression mesurée, cette dernière dans ladite formule étant positive ou négative en fonction de la variation de la vitesse d'écoulement du fluide dans la conduite et/ou du sens de l'écoulement du fluide.

Des aspects préférés, mais non limitatifs du procédé de mesure de débit selon l'invention sont les suivants :

- la deuxième étape du procédé consiste à calculer le débit du fluide en écoulement instationnaire par résolution d'une équation différentielle reliant le débit et la différence de pression mesurée :

$$dq(t)/dt + \alpha(q(t)) = \beta \times \Delta p(t),$$

avec  $q(t)$  le débit instantané recherché,  $dq(t)/dt$  la dérivée par rapport au temps du débit instantané recherché,  $\alpha(q(t))$  une fonction dépendant de la géométrie du système, du fluide et du débit instantané  $q(t)$ ,  $\beta$  un coefficient fonction de la géométrie du dispositif, et  $\Delta p(t)$  la différence de pression instantanée mesurée.

- le sens de l'écoulement est pris en compte dans le terme  $\alpha(q(t))$  dépendant de la géométrie du système et du débit  $q(t)$ .
- le procédé comprend en outre une étape d'acquisition de la température du fluide.
- le procédé comprend en outre une étape d'acquisition de la pression statique absolue du fluide.
- la température du fluide et la pression statique absolue du fluide sont prises en compte dans la formule prenant en compte le sens de l'écoulement.
- le procédé permet le calcul en temps réel du débit instantané d'un fluide compressible en écoulement instationnaire dans une conduite, ledit calcul du débit étant obtenu par résolution d'une

formule reliant le débit à la différence de pression, la pression statique absolue du fluide et la température du fluide.

## **PRESENTATION DES FIGURES**

D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention ressortiront encore de la description qui suit, laquelle est purement illustrative et non limitative et doit être lue en regard des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 illustre une vue en coupe d'un mode de réalisation de la présente invention ;
- la figure 2 illustre un bloc-diagramme à mettre en œuvre pour déterminer le débit d'un fluide conformément au procédé de la présente invention ;
- la figure 3 illustre un exemple d'algorithme numérique à mettre en œuvre pour déterminer le débit d'un fluide conformément au procédé de la présente invention ;
- la figure 4 illustre une comparaison entre le débit mesuré par le procédé de la présente invention et le débit mesuré à partir de la méthode du fil chaud ;

## **DESCRIPTION DE L'INVENTION**

Un but de la présente invention est d'établir un procédé et un système permettant la mesure du débit d'un fluide en écoulement instationnaire dans une conduite, même lorsque le sens de l'écoulement varie au cours du temps, et le débit mesuré rendant compte du sens de l'écoulement.

Dans cette optique, les inventeurs ont établi une relation entre le débit instantané et la pression pour un fluide en écoulement instationnaire en conduite qui permet de calculer un débit en temps réel, la valeur de ce débit

pouvant être positive ou négative, de sorte que le signe du débit calculé indique le sens de l'écoulement du fluide.

Pour cela, les inventeurs sont partis des équations de l'aérodynamique. En appliquant les approximations habituelles des écoulements en conduite à l'équation de bilan d'énergie cinétique d'une part, et en remplaçant chaque terme de vitesse d'écoulement par son expression en fonction du débit dans l'équation de bilan de l'énergie cinétique d'autre part, les inventeurs ont obtenu une formule reliant le débit instantané et la pression pour un fluide en écoulement instationnaire quasi unidirectionnel en conduite.

Cette formule est une équation différentielle de la forme suivante :

$$dq(t)/dt + \alpha(q(t)) = \beta \times \Delta p(t),$$

où

- $q(t)$  représente le débit volumique recherché,
- $dq(t)/dt$  représente la dérivée par rapport au temps du débit recherché,
- $\alpha(q(t))$  représente une fonction dépendant de la géométrie du système, du fluide et du débit  $q(t)$ ,
- $\beta$  représente un coefficient fonction de la géométrie du dispositif,
- $\Delta p(t)$  représente la différence de pression mesurée.

Le fait que la formule décrite ci-dessus soit une équation différentielle permet d'obtenir le débit volumique en temps réel, ce qui ne pourrait pas être fait correctement avec une équation algébrique.

Cette équation différentielle provient directement des équations de la mécanique des fluides. Cette formule, ou équation, présente la particularité de rendre compte du sens de l'écoulement. Le second terme du membre de gauche  $\alpha(q(t))$  est une fonction du débit paramétrée par la géométrie du dispositif et par le sens de l'écoulement. Cette propriété autorise la mesure du débit même lorsque l'écoulement s'inverse.

La présence, dans la formule, de termes dont le signe varie en fonction de la variation de la vitesse d'écoulement du fluide dans la conduite

et/ou du sens de l'écoulement (terme  $\Delta p(t)$ ), et de termes dont le signe varie en fonction du sens de l'écoulement du fluide dans la conduite (termes  $dq(t)/dt$  et  $\alpha(q(t))$ ) permet de calculer un débit positif ou négatif, dont le signe rend compte du sens de l'écoulement du fluide.

Notamment, dans la formule décrite ci-dessus, le terme  $\Delta p(t)$  est pris en compte tel quel, sans valeur absolue. Le signe attribué à la différence de pression  $\Delta p(t)$  varie notamment en fonction de la variation de vitesse d'écoulement du fluide et/ou en fonction du sens de l'écoulement du fluide. La différence de pression  $\Delta p(t)$  est donc positive ou négative, par exemple lorsque le fluide s'écoulant dans la conduite accélère ou décélère, et/ou lorsque le fluide s'écoule dans la conduite dans un sens ou dans son sens opposé.

Par ailleurs, dans la formule décrite ci-dessus, les termes  $dq(t)/dt$  et  $\alpha(q(t))$  sont également pris en compte tel quel, sans valeur absolue.

Ceci permet de calculer un débit dont la valeur peut être positive ou négative, contrairement aux dispositifs de l'art antérieur qui ne sont capables de calculer que des débits positifs, et pas des débits négatifs.

Le signe du débit calculé permet de rendre compte du sens de l'écoulement, et les inversions de signe du débit calculé permettent de rendre compte des inversions de sens d'écoulement du fluide..

Par exemple, si le débit calculé, à  $t = t_1$ , est égal à  $(-20 \text{ m}^3/\text{s})$ , cela signifie que le fluide s'écoule de gauche à droite dans la conduite. Si le débit calculé, à  $t = t_2$ , est égal à  $(+5 \text{ m}^3/\text{s})$ , alors cela signifie qu'il y a eu inversion du sens de l'écoulement entre  $t = t_1$  et  $t = t_2$ , et que le fluide s'écoule de droite à gauche dans la conduite à  $t = t_2$ .

Le lecteur aura compris qu'on entend par « valeur absolue » la racine carré du carré d'un nombre, cette valeur pouvant être positive ou nulle (mais jamais négative).

Cette équation différentielle présente une forme originale qui possède la propriété de toujours converger pour peu que la condition initiale soit correctement choisie de l'ordre de grandeur du débit à trouver.

Préférentiellement, on choisira comme condition initiale lorsque l'écoulement change de sens  $q(t=0) = 0$ .

### **DESCRIPTION D'UN MODE DE REALISATION DE L'INVENTION**

Comme représenté à la figure 1, les inventeurs ont réalisé un système apte à mesurer en temps réel le débit d'un fluide dans une conduite à partir d'une différence de pression. Ce système est un débitmètre et se compose principalement d'un organe déprimogène 1 s'insérant dans la conduite, d'un moyen 2 de mesure d'une différence de pression, et d'un moyen 3 de calcul adapté pour calculer le débit en temps réel.

L'organe déprimogène 1 représenté à la figure 1 est un convergent. Il s'agit d'une conduite profilée comportant une première partie 4 cylindrique présentant une section S1. Cette première partie 4 se termine par une deuxième partie 5 convergente qui aboutit à une troisième partie 6 cylindrique de section inférieure à S1. Deux prises de pression statique A et B sont placées respectivement sur la paroi de la première partie 4 cylindrique et sur la paroi de la troisième partie 6 cylindrique de section inférieure.

Le moyen 2 de mesure d'une différence de pression représenté à la figure 1 est un capteur de pression différentielle. Le moyen de mesure de pression différentielle est raccordé aux deux prises de pression statique A et B de l'organe déprimogène 1. Le moyen 2 de mesure de pression différentielle permet de mesurer la différence entre les deux pressions statiques.

Le moyen 3 de calcul est un calculateur électronique. Ce moyen 3 de calcul est programmé pour mettre en oeuvre l'algorithme de résolution de la formule permettant le calcul du débit, le signe de ce débit rendant compte du sens de l'écoulement. Le moyen de calcul est adapté pour calculer le débit en temps réel par la résolution d'une formule reliant le débit instantané à la différence de pression, cette différence de pression étant positive ou négative dans ladite formule (en fonction de la variation de la vitesse

d'écoulement du fluide dans la conduite et/ou du sens de l'écoulement du fluide). La formule reliant le débit instantané à la différence de pression présente l'avantage de permettre au moyen de calcul de calculer un débit quelque soit le sens du courant, de détecter le sens d'écoulement du fluide, et de détecter les changements de sens d'écoulement du fluide. Ce moyen de calcul peut être numérique ou analogique comme représenté aux figures 2 et 3.

Le principe de fonctionnement du système de mesure de la figure 1 est le suivant. Le fluide s'écoule dans une conduite et passe dans l'organe déprimogène 1.

Le moyen 2 de mesure d'une différence de pression mesure la différence entre la pression statique P1 acquise au niveau de la prise de pression A, et la pression statique P2 acquise au niveau de la prise de pression B. La différence de pression mesurée par le moyen 2 de mesure est transmise sous la forme d'un signal électrique en entrée du moyen 3 de calcul.

Le moyen 3 de calcul calcule le débit du fluide en temps réel à partir de la différence de pression reçue en entrée. En effet, le moyen 3 de calcul est adapté pour résoudre la formule reliant le débit à la différence de pression, cette formule permettant le calcul du débit en temps réel et donnant en outre le sens de l'écoulement du fluide.

A la sortie du moyen 3 de calcul, on obtient le débit du fluide en écoulement instationnaire.

Le dispositif de la figure 1 permet donc de mesurer en temps réel le débit d'un fluide dans une conduite. La mesure de ce débit ne nécessite que deux mesures de pression statique, ce qui est obtenu par un unique capteur de pression différentielle. La mise en œuvre du dispositif de la présente invention est donc simplifiée, la présence d'un seul capteur de pression différentielle dans le dispositif induit un coût réduit dudit dispositif.

Par ailleurs, contrairement aux systèmes de l'art antérieur, le dispositif de la présente invention autorise les inversions de sens de l'écoulement, et rend compte du sens de l'écoulement.

De plus, le dispositif de la figure 1, ne nécessite pas d'étalonnage en débit, et la présence unique de deux prises de pression en paroi ne perturbe pas l'écoulement par rapport à un système de mesure par fil chaud ou tube de Pitot par exemple, où la sonde est introduite directement dans la conduite.

Le schéma bloc de la figure 2 présente d'une manière canonique l'intégration de l'équation différentielle permettant le calcul du débit et rendant compte du sens de l'écoulement, par un système en boucle fermée. Ce schéma constitue un intégrateur bouclé par une rétroaction négative qui assure la stabilité asymptotique de la forme intégrale de l'équation différentielle, c'est-à-dire de la formule permettant le calcul du débit en temps réel et donnant le sens de l'écoulement.

Le moyen 3 de calcul peut être analogique. Comme représenté à la figure 2, le moyen de calcul se compose d'un premier amplificateur 7 (qui peut être purement passif), d'un soustracteur 8, d'un intégrateur 9, et d'une boucle de contre réaction comprenant un circuit 10 (ou module) réalisant la fonction valeur absolue, un multiplicateur 11 à deux entrées et un second amplificateur 12. La boucle de contre réaction permet de renvoyer en entrée du soustracteur 8 une valeur fonction du débit calculé obtenu en sortie du moyen de calcul (c'est-à-dire en sortie de l'intégrateur 9).

L'entrée du premier amplificateur 7 correspond à l'entrée du moyen de calcul. Le premier amplificateur 7 amplifie le signal d'entrée du moyen de calcul par un coefficient  $\beta$ . Ce coefficient correspond à la valeur du coefficient  $\beta$  de l'équation différentielle. Ce coefficient est fonction de la géométrie du dispositif et plus particulièrement de la géométrie de l'organe déprimogène. La détermination de la valeur de ce coefficient est effectuée une fois pour toute. Cette détermination peut être effectuée de différentes manières, par exemple :

- par étalonnage comparatif,

- en évaluant directement le débit d'un écoulement réel ou simulé, constant ou périodique de période  $T$  (dans le cas simulé cela nécessite de connaître l'étalonnage en pression du capteur différentiel),
- par calcul.

Le premier amplificateur 7 reçoit en entrée le signal d'entrée du moyen de calcul. Ce signal d'entrée du moyen de calcul est un signal représentatif de la différence de pression. Il est issu du moyen 2 de mesure de pression différentielle. La sortie de ce premier amplificateur 7 entre sur le soustracteur 8.

Le soustracteur 8 permet de faire la différence entre le signal de sortie du premier amplificateur 7 et le signal issu de la boucle de contre réaction. Ce signal issu de la boucle de contre réaction correspond au terme  $\alpha(q(t))$  de l'équation différentielle (ici on a  $\alpha(q(t)) = \alpha \times q(t) \times |q(t)|$ ).

La sortie du soustracteur 8 sert d'entrée à l'intégrateur 9. Cet intégrateur 9 permet d'intégrer en temps réel le signal de sortie du soustracteur 8. Le signal de sortie du soustracteur 8 correspond à la dérivée par rapport au temps du débit recherché (en effet, d'après la formule on a  $dq(t)/dt = \beta \times \Delta p(t) - \alpha(q(t))$ ). Le signal fourni à la sortie de l'intégrateur 9 correspond au débit recherché  $q$ . Il s'agit de la sortie du moyen de calcul.

Le signal fourni à la sortie de l'intégrateur 9 est envoyé à l'entrée du multiplicateur 11. Il est également envoyé sur l'entrée du circuit 10 réalisant la fonction valeur absolue. La sortie du circuit 10 réalisant la fonction valeur absolue sert de deuxième entrée au multiplicateur 11.

Le multiplicateur 11 effectue la multiplication du signal de sortie de l'intégrateur 9 avec le signal de sortie du circuit 10 réalisant la fonction valeur absolue. La sortie du multiplicateur 11 sert d'entrée au deuxième amplificateur 12.

Le deuxième amplificateur 12 (qui peut être purement passif) amplifie le signal de sortie par un coefficient  $\alpha$ . Ce coefficient est fonction de la géométrie du dispositif et plus particulièrement de la géométrie de l'organe

déprimogène 1 ; il dépend également des caractéristiques du fluide. La détermination de la valeur de ce coefficient est effectuée une fois pour toute. Cette détermination peut être effectuée de différentes manières, par exemple :

- par étalonnage comparatif,
- en évaluant directement le débit d'un écoulement réel ou simulé, périodique de période  $T$  (dans le cas simulé cela nécessite de connaître l'étalonnage en pression du capteur différentiel),
- par calcul.

Dans la pratique, la détermination des paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  en fonctionnement conduit à des réglages qui sont interdépendants.

Le principe de fonctionnement du moyen de calcul de la figure 2 est le suivant.

Comme il a été indiqué précédemment, l'équation différentielle reliant le débit d'un fluide en écoulement instationnaire à une différence de pression présente une forme originale qui possède la propriété de toujours converger pour peu que la condition initiale soit correctement choisie de l'ordre de grandeur du débit moyen (par exemple  $q(t=0) = 0$  lorsque le débit change de sens). Cela signifie qu'étant donnée une condition initiale sur le signal de sortie de l'intégrateur, ce signal de sortie va converger vers une valeur représentative du débit recherché.

Au départ, on aura par exemple en sortie de l'intégrateur un signal nul ( $q(t=0) = 0$ ). Le moyen de calcul reçoit en entrée un signal représentatif de la différence de pression entre les deux prises de pression. Ce signal est amplifié par le premier amplificateur 7. Le signal de sortie de ce premier amplificateur correspond au terme  $\beta \times \Delta p(t)$  de l'équation différentielle.

Le signal de sortie du premier amplificateur 7 est transmis sur la première entrée du soustracteur 8. Le signal issu de la boucle de contre réaction arrive sur la deuxième entrée du soustracteur 8 (au départ égale à zéro puisque la condition initiale choisie est  $q(t=0) = 0$ ). Le soustracteur 8

effectue la soustraction de ces deux signaux. Le signal de sortie du soustracteur correspond au terme  $dq/dt$  dans l'équation différentielle.

Le signal de sortie du soustracteur 8 est envoyé sur l'intégrateur 9. Ce signal est intégré par l'intégrateur 9 qui délivre en sortie un signal représentatif du débit recherché  $q$ .

Le signal de sortie de l'intégrateur 9 est envoyé en sortie du moyen de calcul et en entrée de la boucle de contre réaction. Le signal d'entrée de la boucle de contre réaction est envoyé sur une des entrées du multiplicateur 11, et sur l'entrée du circuit 10 réalisant la fonction valeur absolue. Le signal de sortie de l'intégrateur 9 et le signal de sortie du circuit 10 réalisant la valeur absolue sont multipliés par le multiplicateur 11.

La sortie du multiplicateur 11 est ensuite envoyée sur le second amplificateur 12 qui l'amplifie. La sortie du second amplificateur 12 correspond au terme  $\alpha(q(t))$  de l'équation différentielle.

Le signal de sortie du second amplificateur est renvoyé sur la deuxième entrée du soustracteur. Ce signal tient compte du sens de l'écoulement.

Le soustracteur effectue la soustraction du signal de sortie du premier amplificateur avec le signal de sortie du second amplificateur. La sortie du soustracteur est intégrée par l'intégrateur qui délivre en sortie un signal représentatif du débit  $q(t)$ . Au cours du temps, le signal de sortie de l'intégrateur, qui correspond au signal de sortie du moyen de calcul converge vers une valeur correspondant à la solution instantanée de l'équation différentielle.

Le moyen de calcul analogique de la figure 2 permet donc de calculer le débit instantané et de donner le sens d'écoulement d'un fluide en écoulement instationnaire.

Comme représenté sur la figure 3, le moyen de calcul électronique peut également être numérique. On a représenté à la figure 3 un exemple d'algorithme numérique programmé dans les moyens de calcul numérique adapté à l'utilisation d'un système de mesure comprenant un organe

déprimogène du type convergent. L'algorithme se rapportant au procédé consistant à déterminer le débit instantané à partir de la différence de pression comporte 3 étapes. Les moyens de calcul comportent des moyens aptes à mettre en œuvre ces étapes.

On acquiert un signal représentatif de la différence de pression toutes les  $T_e$  secondes.

La première étape 13 consiste à déterminer la condition initiale permettant la résolution de l'équation différentielle. Préférentiellement on choisira comme condition initiale  $q_0 = q(t=0) = 0$  lorsque le débit change de sens.

Dans la deuxième étape 14, on acquiert une différence de pression  $P_n$ .

Dans une troisième étape 15, on calcule la valeur  $q_{n+1}$  correspondant au débit recherché en discrétilisant l'équation différentielle reliant le débit instantané à la différence de pression, par exemple à l'aide de la formule :

$$q_{n+1} = q_n \times (1 - \alpha \times |q_n| \times T_e) + \beta \times P_n \times T_e.$$

On obtient en sortie de la troisième étape 15 la valeur de  $q_{n+1}$  calculée à partir de  $q_n$  et de  $P_n$ .

En réitérant ainsi de suite les étapes 14 et 15, la sortie  $q$  du moyen de calcul numérique fournit, à partir du signal de pression différentielle  $P$  échantillonné selon la base de temps  $T_e$ , une suite de valeurs discrètes  $q_0, q_1, \dots, q_n$  qui converge vers la solution instantanée de l'équation différentielle.

La figure 4 montre un exemple de résultats obtenus en utilisant le dispositif de la figure 1. L'évolution d'un débit pulsé en conduite est mesurée par l'invention et comparée avec le débit reconstitué à partir de la vitesse du fluide déterminée par un fil chaud placé au centre de la conduite.

Le premier graphique 17 et le deuxième graphique 18 de la figure 4 présentent l'évolution du débit dans une conduite en fonction du temps. Les traits pointillés représentent les résultats obtenus avec le dispositif de la présente invention. Les traits pleins représentent les résultats obtenus avec le dispositif de mesure par fil chaud.

On peut remarquer sur le premier graphique 17 que le dispositif de mesure par fil chaud, qui est incapable par conception de donner le sens de l'écoulement, donne toujours un débit positif, même lorsque celui-ci s'inverse. Ce n'est pas le cas du système de la présente invention qui suit parfaitement les inversions de sens de l'écoulement. Ceci est dû au fait que le système de mesure de la présente invention tient compte du sens de l'écoulement.

On peut remarquer sur le deuxième graphique 18 que le dispositif de la présente invention possède une très bonne résolution en temps (grande bande passante) puisque la pulsation atteinte dans le deuxième graphique de la figure 4 est proche de 90 Hz.

Le système de mesure de pression de la présente invention permet donc la mesure du débit d'un fluide en écoulement instationnaire en conduite. Il ne nécessite que deux prises de pression statique, et autorise n'importe quelle fluctuation de l'écoulement, y compris des inversions de sens. Ceci est rendu possible par la résolution de la formule reliant le débit à la différence de pression et permettant de calculer le débit en temps réel et donnant en outre le sens de l'écoulement.

Le lecteur aura compris que de nombreuses variantes de la présente invention peuvent être mises en place.

Par exemple l'organe déprimogène 1 pourrait être un venturi, un diaphragme, ou tout dispositif introduisant une perte de charge dans l'écoulement.

Par ailleurs, le moyen de calcul pourrait être d'un autre type que ceux évoqués aux figures 2 et 3, la particularité de ce moyen de calcul étant d'être adapté à la résolution d'une formule reliant le débit à la différence de pression, ladite formule permettant de calculer le débit du fluide et de rendre compte du sens de l'écoulement du fluide.

En outre, des améliorations peuvent être apportées au système et au procédé de la présente invention.

Le débit mesuré ici était le débit volumique  $q(t)$  d'un fluide incompressible en écoulement instationnaire dans une conduite. Cependant, il est possible de remonter au débit massique  $q_m$  en faisant le produit du débit mesuré par la masse volumique  $\rho$  du fluide. Cette masse volumique est fonction principalement de la température du fluide et de la pression statique absolue.

Donc, en ajoutant une sonde de mesure de température au dispositif de la figure 1, et en utilisant la fonction  $\rho(T)$  donnant la masse volumique du fluide en fonction de la température dans les moyens de calcul, il est possible de remonter au débit massique à partir du débit volumique mesuré, sachant que l'on a :

$$q_m(t) = \rho(T) \times q(t).$$

L'introduction dans le moyen de calcul de moyens aptes à obtenir la masse volumique  $\rho(T)$  du fluide à partir de la mesure de température obtenue à l'aide de la sonde de mesure de température, et de moyens aptes à effectuer le produit du débit volumique  $q(t)$  par la masse volumique  $\rho(T)$ , il est possible de remonter au débit massique d'un fluide incompressible en écoulement instationnaire dans une conduite.

Par ailleurs, la mesure de la pression statique absolue en plus de la température permet de prendre en compte les effets de compressibilité du fluide et par là d'étendre les applications de la présente invention aux écoulements compressibles (cette pression statique absolue mesurée peut également être prise en compte dans l'obtention de la masse volumique  $\rho$  d'un fluide incompressible afin que le débit massique calculé soit plus précis).

Donc en ajoutant une sonde de mesure de température, et une sonde de mesure de pression statique absolue au dispositif de la figure 1, et en adaptant le moyen de calcul de sorte qu'il reçoive en entrée la différence de pression mesurée par le moyen 2 de mesure de pression différentielle, la mesure de température mesurée par la sonde de mesure de température et la mesure de pression statique mesurée par la sonde de mesure de pression

statique, il est possible de calculer le débit massique d'un fluide compressible en écoulement instationnaire dans une conduite à partir de la formule reliant le débit à une différence de pression, ladite formule prenant en compte le sens de l'écoulement du fluide.

De plus, le moyen de mesure de pression différentielle peut être différent d'un capteur de pression différentielle. Par exemple, les deux prises de pressions peuvent être reliées à deux sondes de mesure de pressions relatives, on obtiendrait alors en sortie des sondes les pressions statiques relatives  $P_1$  et  $P_2$ . La différence entre ces deux pressions statiques relatives  $P_1$  et  $P_2$  peut alors être obtenue soit à l'aide d'un boîtier électronique apte à effectuer une différence entre les deux pressions statiques relatives mesurées, et situé entre les deux sondes de mesure et le moyen de calcul, soit à l'aide du moyen 3 de calcul s'il est prévu dans celui-ci des moyens pour obtenir cette différence. Chacune des première et deuxième prises de pression peut également être constituée par une pluralité de prises de pression élémentaires raccordées entre elles et réparties sur la périphérie de la conduite.

Dans ce cas, la première prise de pression comprend plusieurs prises élémentaires de pression situées dans un premier plan perpendiculaire à l'axe de la conduite. La pression mesurée grâce à la première prise de pression est alors égale à la moyenne des pressions mesurée à l'aide des prises de pression élémentaires de la première prise de pression. De même, la deuxième prise de pression comprend plusieurs prises élémentaires de pression situées dans un deuxième plan perpendiculaire à l'axe de la conduite, les premier et deuxième plans étant distincts. La pression mesurée grâce à la deuxième prise de pression est alors égale à la moyenne des pressions mesurée à l'aide des prises de pression élémentaires de la deuxième prise de pression.

REVENDICATIONS

1. Système de mesure en temps réel du débit instantané d'un fluide en écoulement stationnaire ou instationnaire dans une conduite, caractérisé en ce qu'il comporte :
  - un organe déprimogène (1) placé dans la conduite, ledit organe déprimogène (1) étant muni de deux prises (A, B) de pression en paroi,
  - un moyen (2) de mesure d'une différence de pression apte à être raccordé aux deux prises (A, B) de pression,
  - un moyen (3) de calcul adapté pour calculer le débit en temps réel par la résolution d'une formule reliant le débit instantané à la différence de pression, cette dernière dans ladite formule étant positive ou négative en fonction de la variation de la vitesse d'écoulement du fluide dans la conduite et/ou du sens de l'écoulement du fluide.
2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que la formule comprend un terme représentatif du débit instantané, et un terme représentatif de la dérivée par rapport au temps du débit instantané, chacun de ces deux termes pouvant être positif ou négatif.
3. Système selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que la formule prenant en compte le sens de l'écoulement est une équation différentielle de la forme :

$$dq(t)/dt + \alpha(q(t)) = \beta \times \Delta p(t),$$

où  $q(t)$  représente le débit instantané recherché,

$dq(t)/dt$  représente la dérivée par rapport au temps du débit instantané recherché,

$a(q(t))$  représente une fonction dépendant de la géométrie du système, du fluide et du débit  $q(t)$ ,

$\beta$  représente un coefficient fonction de la géométrie du dispositif,

$\Delta p(t)$  représente la différence de pression instantanée mesurée.

4. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une sonde de mesure de température.
5. Système selon la revendication 3, caractérisé en ce que le moyen de calcul est apte à obtenir la masse volumique du fluide à l'aide de la mesure de température mesurée par la sonde de mesure de température et à calculer le débit instantané massique du fluide.
6. Système selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une sonde de mesure de pression statique absolue.
7. Système selon la revendication 5, caractérisé en ce que le moyen (3) de calcul est apte à calculer en temps réel le débit instantané massique d'un fluide compressible en temps réel grâce à la prise en compte de la mesure de pression statique absolue et de la mesure de température et par la résolution de la formule reliant le débit instantané à la différence de pression, ladite formule prenant en compte le sens de l'écoulement du fluide.
8. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'organe déprimogène est un convergent.

9. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'organe déprimogène (1) est un diaphragme.
10. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'organe déprimogène (1) est un venturi.
11. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le moyen (2) de mesure d'une différence de pression est un capteur de pression différentielle raccordé aux deux prises de pression.
12. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le moyen de mesure d'une différence de pression est un ensemble de deux capteurs de pression relative raccordé aux deux prises de pression.
13. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le moyen (3) de calcul est un calculateur électronique analogique ou numérique.
14. Système selon la revendication 13, caractérisé en ce que le moyen de calcul comprend un premier amplificateur (7) connecté à une première entrée d'un soustracteur (8), un intégrateur (9) connecté à une sortie du soustracteur (8), une boucle de contre réaction connectée entre une sortie de l'intégrateur (9) et une deuxième entrée du soustracteur (8), la boucle de contre réaction comportant un module (10) réalisant la fonction valeur absolue connecté à la sortie de l'intégrateur (9), un multiplicateur (11) connecté par une première entrée à une sortie du module (10) et par une deuxième entrée à la sortie de l'intégrateur (9).

15. Procédé de mesure du débit d'un fluide en écoulement stationnaire ou instationnaire dans une conduite, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- mesurer, quelques soient les fluctuations de l'écoulement, une différence entre deux pressions.
- calculer le débit du fluide par la résolution d'une formule reliant le débit et la différence de pression, cette dernière dans ladite formule étant positive ou négative en fonction de la variation de la vitesse d'écoulement du fluide dans la conduite et/ou du sens de l'écoulement du fluide.

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que la formule comprend un terme représentatif de la différence de pression, un terme représentatif du débit instantané, et un terme représentatif de la dérivée par rapport au temps du débit instantané, chacun de ces trois termes pouvant être positif ou négatif.

17. Procédé selon la revendication 15 ou la revendication 16, caractérisé en ce que la deuxième étape du procédé consiste à calculer le débit du fluide en écoulement instationnaire par résolution d'une équation différentielle reliant le débit et la différence de pression mesurée :

$$dq(t)/dt + \alpha(q(t)) = \beta \times \Delta p(t),$$

où  $q(t)$  représente le débit instantané recherché,  
 $dq(t)/dt$  représente la dérivée par rapport au temps du débit instantané recherché,  
 $\alpha(q(t))$  représente une fonction dépendant de la géométrie du système, du fluide et du débit instantané  $q(t)$ ,  
 $\beta$  représente un coefficient fonction de la géométrie du dispositif,  
 $\Delta p(t)$  représente la différence de pression instantanée mesurée.

18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que le sens de l'écoulement est pris en compte dans le terme  $\alpha(q(t))$  dépendant de la géométrie du système et du débit  $q(t)$ .
19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 15 à 18, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape d'acquisition de la température du fluide.
20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 15 à 19, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape d'acquisition de la pression statique absolue du fluide.
21. Procédé selon les revendications 19 et 20, caractérisé en ce que la température du fluide et la pression statique absolue du fluide sont prises en compte dans la formule prenant en compte le sens de l'écoulement.
22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce qu'il permet le calcul en temps réel du débit instantané d'un fluide compressible en écoulement instationnaire dans une conduite, ledit calcul du débit étant obtenu par résolution d'une formule reliant le débit à la différence de pression, la pression statique absolue du fluide et la température du fluide.

1 / 4

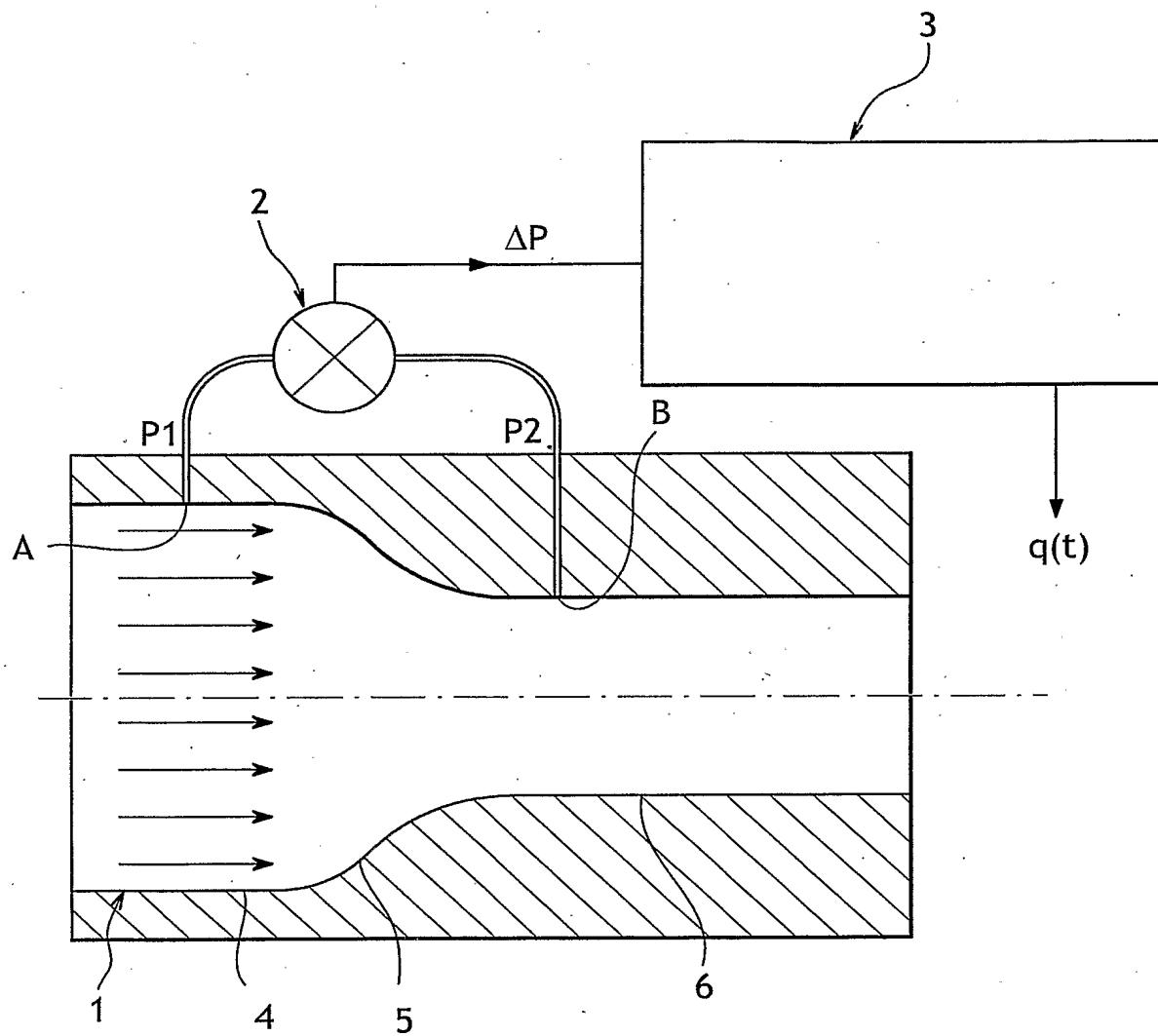


FIG.1

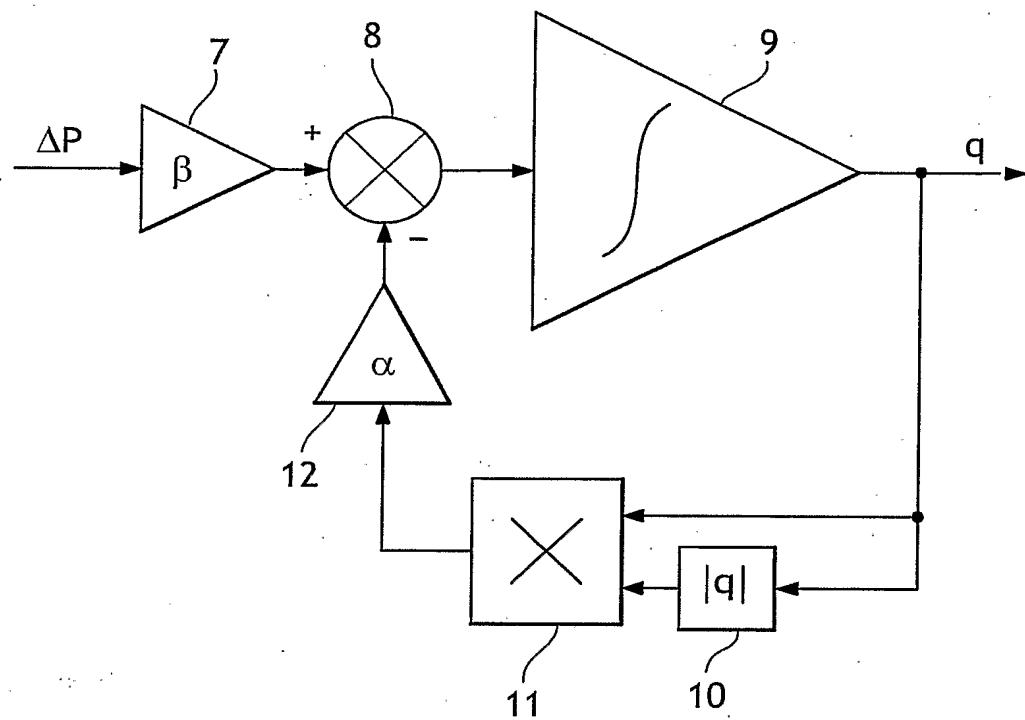


FIG.2

3 / 4

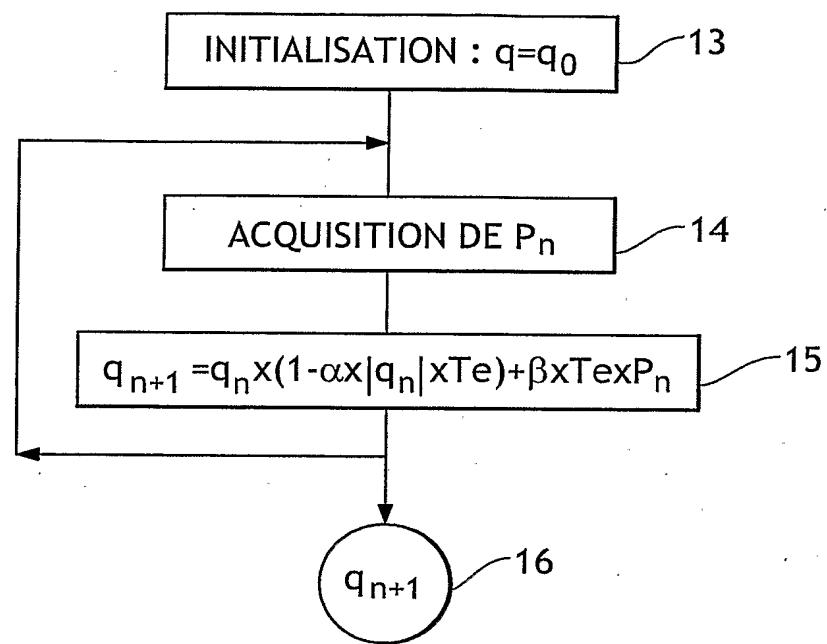
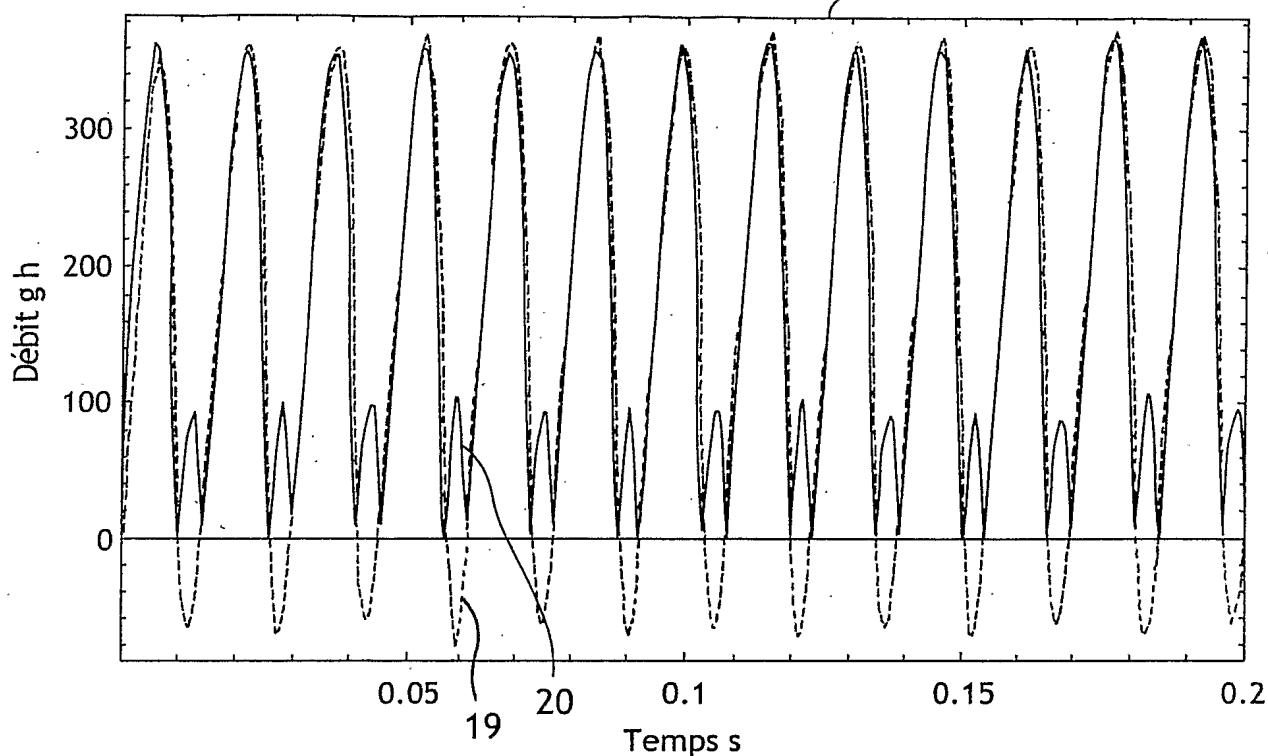


FIG.3

4 / 4

17



18

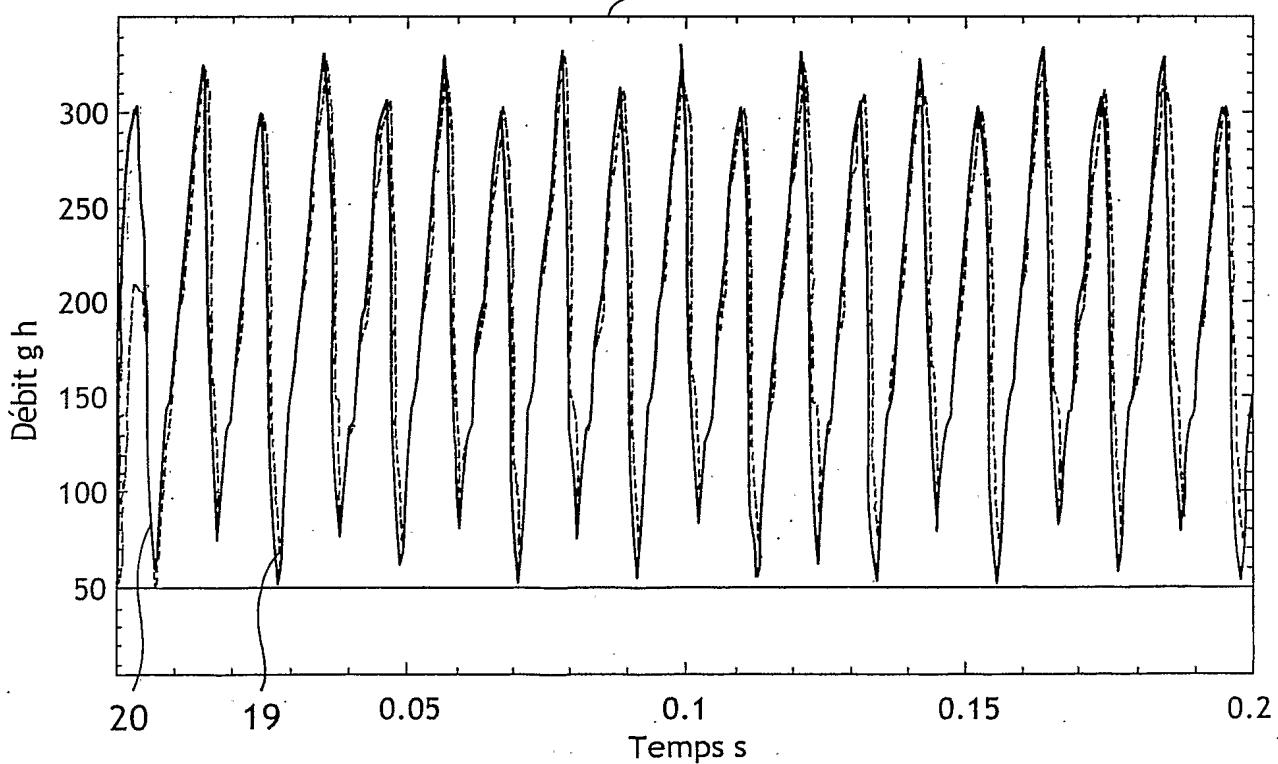


FIG.4

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2005/000352

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G01F1/36 G01F1/88

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 24 59 811 A1 (VOLKSWAGENWERK AG) 24 June 1976 (1976-06-24) the whole document -----	1, 4-13, 15, 19-22
X	US 2003/136196 A1 (WIKLUND ET AL) 24 July 2003 (2003-07-24) the whole document -----	1, 4-7, 11, 13, 15, 20
A	US 5 365 795 A (BROWER JR) 22 November 1994 (1994-11-22) column 2, line 58 - column 11, line 12; figures 1-5 -----	1-22
A	US 3 469 446 A (KOCHEY EDWARD L JR) 30 September 1969 (1969-09-30) column 9, line 65 - column 10, line 21; figure 8 -----	1-22
		-/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

10 June 2005

17/06/2005

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Barthélémy, M

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2005/000352

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 799 169 A (MIMS) 17 January 1989 (1989-01-17) column 4, line 4 – column 19, line 29; figures 1-10 -----	1-22
A	EP 0 496 661 A (CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE) 29 July 1992 (1992-07-29) the whole document -----	1-22

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

## Information on patent family members

International Application No  
PCT/FR2005/000352

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
DE 2459811	A1	24-06-1976		NONE
US 2003136196	A1	24-07-2003	AU 4010201 A AU 4321301 A AU 4548301 A EP 1269027 A2 JP 2003526097 T WO 0166955 A2 WO 0166956 A2 WO 0166957 A2	17-09-2001 17-09-2001 17-09-2001 02-01-2003 02-09-2003 13-09-2001 13-09-2001 13-09-2001
US 5365795	A	22-11-1994	NONE	
US 3469446	A	30-09-1969	NONE	
US 4799169	A	17-01-1989	NONE	
EP 0496661	A	29-07-1992	FR 2671877 A1 AT 131621 T DE 69206637 D1 DE 69206637 T2 EP 0496661 A1 JP 3234894 B2 JP 6018541 A US 5493512 A	24-07-1992 15-12-1995 25-01-1996 15-05-1996 29-07-1992 04-12-2001 25-01-1994 20-02-1996

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR2005/000352

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 G01F1/36 G01F1/88

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G01F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DE 24 59 811 A1 (VOLKSWAGENWERK AG) 24 juin 1976 (1976-06-24) 1e document en entier -----	1,4-13, 15,19-22
X	US 2003/136196 A1 (WIKLUND ET AL) 24 juillet 2003 (2003-07-24) 1e document en entier -----	1,4-7, 11,13, 15,20
A	US 5 365 795 A (BROWER JR) 22 novembre 1994 (1994-11-22) colonne 2, ligne 58 - colonne 11, ligne 12; figures 1-5 -----	1-22
A	US 3 469 446 A (KOCHEY EDWARD L JR) 30 septembre 1969 (1969-09-30) colonne 9, ligne 65 - colonne 10, ligne 21; figure 8 -----	1-22
		-/-

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

10 juin 2005

17/06/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL – 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Barthélémy, M

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/FR2005/000352

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 4 799 169 A (MIMS) 17 janvier 1989 (1989-01-17) colonne 4, ligne 4 – colonne 19, ligne 29; figures 1-10 -----	1-22
A	EP 0 496 661 A (CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE) 29 juillet 1992 (1992-07-29) le document en entier -----	1-22

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No  
PCT/FR2005/000352

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)			Date de publication
DE 2459811	A1	24-06-1976	AUCUN		
US 2003136196	A1	24-07-2003	AU 4010201 A AU 4321301 A AU 4548301 A EP 1269027 A2 JP 2003526097 T WO 0166955 A2 WO 0166956 A2 WO 0166957 A2		17-09-2001 17-09-2001 17-09-2001 02-01-2003 02-09-2003 13-09-2001 13-09-2001 13-09-2001
US 5365795	A	22-11-1994	AUCUN		
US 3469446	A	30-09-1969	AUCUN		
US 4799169	A	17-01-1989	AUCUN		
EP 0496661	A	29-07-1992	FR 2671877 A1 AT 131621 T DE 69206637 D1 DE 69206637 T2 EP 0496661 A1 JP 3234894 B2 JP 6018541 A US 5493512 A		24-07-1992 15-12-1995 25-01-1996 15-05-1996 29-07-1992 04-12-2001 25-01-1994 20-02-1996